



20/026  
 ⑯ BUNDESREPUBLIK  
 DEUTSCHLAND  
  
 DEUTSCHES  
 PATENT- UND  
 MARKENAMT

⑯ Offenlegungsschrift  
 ⑯ DE 100 05 164 A 1

⑯ Int. Cl. 7:  
**H 01 B 17/26**  
 G 01 R 15/24  
 G 01 R 15/06

⑯ Aktenzeichen: 100 05 164.2  
 ⑯ Anmeldetag: 8. 2. 2000  
 ⑯ Offenlegungstag: 9. 8. 2001

⑯ Anmelder:  
 ABB Research Ltd., Zürich, CH

⑯ Vertreter:  
 Zimmermann & Partner, 80331 München

⑯ Erfinder:  
 Bohnert, Klaus, Dr., Oberrohrdorf, CH; Brändle, Hubert, Dr., Oberengstringen, CH; Christen, Thomas, Dr., Vogelsang, CH; Greuter, Felix, Rütihof, CH

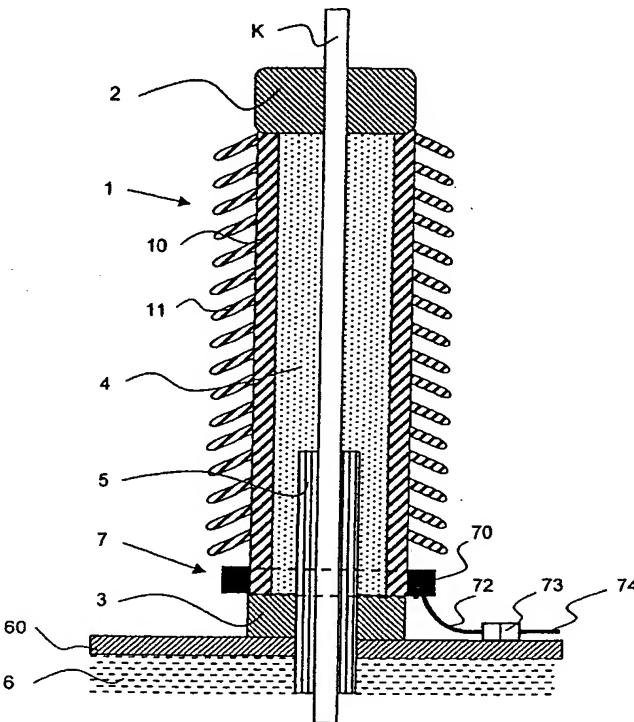
⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE	196 08 946 A1
DE	40 25 911 A1
GB	22 89 803 A
US	46 70 625 A
EP	09 07 084 A1
EP	08 56 737 A1
EP	06 82 261 A1

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑯ Durchführung für eine Hochspannungseinrichtung

⑯ Eine Durchführung zur isolierten Einführung eines Stromleiters (K) in eine Hochspannungseinrichtung, insbesondere in einen Transformator, weist ein zylinderförmiges Isoliergehäuse (1) zur Aufnahme des Stromleiters (K), einen Durchführungsfansch (3) zur Befestigung der Durchführung an der Hochspannungseinrichtung und einen Strom- und/oder Spannungssensor (7, 8) auf. Der Strom- und/oder Spannungssensor (7, 8) ist dabei an einem Teil der Durchführung angeordnet, welcher sich im montierten Zustand außerhalb der Hochspannungseinrichtung befindet. Dadurch ist eine von der Art und Form des Transformators weitgehend unabhängige Konstruktion ermöglicht.



## Beschreibung

## Technisches Gebiet

Die Erfindung bezieht sich auf eine Durchführung zur isolierten Einführung eines Stromleiters in eine Hochspannungseinrichtung gemäss Oberbegriff des Patentanspruches 1.

## Stand der Technik

Derartige Durchführungen sind beispielsweise aus Casper William et al. "Bemessung und Betrieb von Durchführungen für Transformatoren und Drosselspulen", etz-Report 23, VDE-Verlag, Berlin, 1986, bekannt. Die dort beschriebenen Durchführungen für Transformatoren weisen ein zylindrisches, mit einem Isolationsmaterial gefülltes Isoliergehäuse auf, welches über einen Durchführungsflansch an einen Transformator, beziehungsweise an einen im Transformator angeordneten, ölfüllten Durchführungsdom anschliessbar ist. Ein einzuführendes Hochspannungskabel, im folgenden Stromleiter genannt, durchsetzt das Isoliergehäuse, den Durchführungsflansch sowie den Durchführungsdom.

Zur Strommessung ist der Durchführungsdom mit einem induktiven Stromwandler versehen, welcher das Stromkabel beabstandet umgibt. Üblicherweise verwendete Stromwenderspulen haben den Nachteil, dass sie relativ grosse Durchmesser aufweisen und deshalb schwer und teuer sind. Ölisolierte Stromwandler haben zudem den Nachteil, dass sie bei Fehlfunktionen explodieren können. Ferner ist der Messbereich induktiver Stromwandler relativ beschränkt und die Messung selber kann aufgrund von elektromagnetischen Interferenzen und magnetischer Sättigung fehlerbehaftet sein. Der grösste Nachteil ist jedoch, dass ihre Grösse stark vom Bereich des zu messenden Stroms oder der Spannung abhängt. Das hat zur Folge, dass die Grösse des Durchführungsdoms und somit der Durchführung entsprechend dem jeweiligen Spannungsbereich der Hochspannungseinrichtung beziehungsweise des Stromleiters angepasst sein muss. Durch die fehlende Standardisierung der Durchführungen erhöhen sich deren Herstellung- und Lagerkosten. Eine Standardisierung wird zudem dadurch erschwert, dass die Durchführung mit dem Isoliergehäuse und der im Transformator angeordnete Durchführungsdom im allgemeinen nicht von demselben Hersteller hergestellt werden.

## Darstellung der Erfindung

Es ist deshalb Aufgabe der Erfindung, eine Durchführung der eingangs genannten Art zu schaffen, welche eine Standardisierung ermöglicht.

Diese Aufgabe löst eine Durchführung mit den Merkmalen des Patentanspruches 1.

Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung, eine Durchführung der eingangs genannten Art zu schaffen, welche die Explosionsgefahr eines Strom- und Spannungsmessgerätes vermindert.

Diese Aufgabe 1 löst eine Durchführung mit den Merkmalen des Patentanspruches 3, eine Durchführung mit den Merkmalen des Patentanspruches 10 sowie eine Durchführung mit den Merkmalen des Patentanspruches 11.

Die erfindungsgemäss Durchführung weist selber einen Strom- und/oder Spannungssensor auf, so dass sich ein voluminöser Stromwandler innerhalb eines Transformators erübrigt.

Die Durchführung muss nicht mehr an verschiedene Grössen eines Durchführungsdoms des Transformators an-

angepasst werden, so dass eine Standardisierung ermöglicht ist.

Ist der Sensor im montierten Zustand der Durchführung ausserhalb des Transformatoren angeordnet, so ist er im Störungsfall einfach ersetzbar und im Normalbetrieb auf einfache Art und Weise mit einer Auswertelektronik oder einer optoelektronischen Messapparatur verbindbar.

Als Stromsensor ist ein Stromsensor mit einer faseroptischen Sensorspule geeignet, wie er in EP-A-0'856'737 beschrieben ist.

Als Spannungssensor ist ein piezo-optischer Sensor mit einem piezoelektrischen Kristall geeignet, wie er in EP-A-0'907'084 beschrieben ist, oder ein elektrooptischer Sensor mit einem elektrooptischen Kristall, wie er in EP-A-0'682'261 beschrieben ist.

Diese Strom- und Spannungssensoren haben den Vorteil, dass sie einerseits sehr klein, kaum störungsanfällig und zudem über einen grossen Messbereich einsetzbar sind.

Weitere vorteilhafte Ausführungsformen gehen aus den abhängigen Patentansprüchen hervor.

## Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Im folgenden wird der Erfindungsgegenstand anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen, welche in den beiliegenden Zeichnungen dargestellt sind, näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen Querschnitt durch eine schematische Darstellung einer erfindungsgemässen Durchführung mit einem magneto-optischen Stromsensor in einer ersten Ausführungsform;

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines magneto-optischen Stromsensors;

Fig. 3 eine Durchführung in einer zweiten Ausführungsform;

Fig. 4 eine Durchführung in einer dritten Ausführungsform;

Fig. 5 eine Durchführung in einer vierten Ausführungsform;

Fig. 6 eine Durchführung in einer fünften Ausführungsform;

Fig. 7 eine Durchführung in einer sechsten Ausführungsform;

Fig. 5a eine schematische Darstellung eines piezooptischen Spannungssensors;

Fig. 8b eine schematische Darstellung eines elektrooptischen Spannungssensors und

Fig. 9 einen Teilschnitt durch einen Teil einer Durchführung in einer siebten Ausführungsform.

## Wege zur Ausführung der Erfindung

In Fig. 1 ist eine Durchführung gemäss der Erfindung dargestellt, wie sie vorzugsweise für Transformatoren, jedoch auch für Trenner oder Schalter einsetzbar ist. Sie weist ein zylindrisches Isoliergehäuse 1, welches an einem Ende mit einem Durchführungskopf 2 und am anderen Ende mit einem Durchführungsflansch 3 abgeschlossen ist. Das Isoliergehäuse 1 ist üblicherweise aus Keramik oder einem Kunststoff gefertigt und weist an seinem Mantel 10 nach aussen vorstehende Rippen 11 auf. Das Isoliergehäuse 1 weist einen Innenraum auf, welcher mit einer Isolierung 4 versehen ist. Als Isolierfüllungen 4 eignen sich Öl, Gase, wie beispielsweise SF<sub>6</sub>, N<sub>2</sub> oder Luft, oder Isoliermassen, wie Silicon, Epoxy oder Polyurethane. Als Isoliermassen eignen sich Gele, Schäume oder Feststoffe.

Durchführungskopf 2 und Durchführungsflansch 3 weisen Öffnungen zur Durchführung eines Stromleiters K auf.

Der Stromleiter K durchsetzt dabei je nach Ausführungsform der Durchführung das Isoliergehäuse 1 direkt oder er ist in einem Zentralrohr, welches im Isoliergehäuse angeordnet ist, geführt.

Die Durchführung ist mittels des Durchführungsflansches 3 an einer Hochspannungseinrichtung angeschlossen. Im hier dargestellten Beispiel ist die Hochspannungseinrichtung ein Transformator, wobei lediglich eine obere Transformerwand 60 und ein Teil eines ölgefüllten Durchführungsdomes 6 dargestellt ist.

In diesem Beispiel ist als Durchführung eine Kondensatordurchführung dargestellt. Im Innern des Isoliergehäuses 1 ist deshalb ein um den Stromleiter 1 beziehungsweise um das Zentralrohr gewickelter Kondensatorwickel 5 vorhanden. Dieser Kondensatorwickel 5 besteht üblicherweise aus Metallblechen, welche durch harzgetränkte Papierwickel voneinander getrennt sind. Der Kondensatorwickel 5 erstreckt sich teilweise innerhalb des Isoliergehäuses 1, durchsetzt den Durchführungsflansch 3 und ragt in den Transformator beziehungsweise in dessen Durchführungsdom 6 hinein.

Der Durchführungskopf 2 ist somit auf Hochspannungspotential, der Durchführungsflansch 3 auf Erdpotential wie die Transformerwand 60.

Erfnungsgemäß ist die Durchführung mit einem Strom- und/oder Spannungssensor versehen, wobei die Sensoren vorzugsweise auf Hochspannungs- oder auf Erdpotential liegen.

In den Ausführungsformen gemäß Fig. 1 und den Fig. 3 bis 7 ist lediglich ein Stromsensor 7 vorhanden. Dieser Stromsensor 7 ist vorzugsweise ein magneto-optischer Stromsensor, wie er in Fig. 2 dargestellt und aus EP-A-0'856'737 bekannt ist. Er weist eine Sensorspule 70 aus einer gewickelten, magnetooptisch aktiven optischen Faser auf, welche in einem Sensorgehäuse angeordnet ist. Mindestens an einem Ende ist die Sensorspule 70 über ein hier nicht dargestelltes Phasenverzögerungselement mit einer weiteren optischen Faser, einer sogenannten Zuleitungsfaser 72 verbunden, über welche sich Licht in die Sensorspule 70 ein- beziehungsweise auskoppeln lässt. Die Zuleitungsfaser 72 ist über ein optisches Verbindungsglied 73 mit einer Verlängerungsfaser 74 verbunden, welche mit einer Auswerteoptik und -elektronik 75 verbunden ist.

In der Sensorspule 70 propigt zirkular polarisiertes Licht, in der Zuleitungsfaser 72 linear polarisiertes Licht. Das Licht wird beim Übergang durch das Phasenverzögerungselement jeweils in die entsprechende Polarisation gewandelt. Die Sensorspule wird entweder als Sagnac-Interferometer oder als Reflexions-Interferometer betrieben, so dass sich zwei gegen- beziehungsweise gleichlaufende Wellen in der Faser der Sensorspule 70 ausbreiten. Umgeht die Sensorspule 70 einen Stromleiter K und ist dieser stromdurchflossen, so erzeugt der Strom ein magnetisches Feld, welches zu einer differentiellen Phasenverschiebung zwischen diesen zwei gegenläufigen bzw. gleichlaufenden optischen Wellen führt. Dieser Effekt wird magneto-optischer oder Faraday-Effekt genannt. Die entstandene Phasenverschiebung ist dabei proportional zum Strom und lässt sich mit der Auswerteoptik und -elektronik 75 detektieren.

In einer ersten Ausführungsform gemäß Fig. 1 umgibt die Sensorspule 70 das Isoliergehäuse 1, wobei es oberhalb des Durchführungsflansches 3 angeordnet ist und somit Erdpotential aufweist. Die Zuleitungsfaser 72 verläuft vollständig ausserhalb des Isoliergehäuses 1. Vorteilhaft an dieser Ausführungsform ist, dass bekannte Durchführungen verwendet und mit dem Stromsensor 7 nachgerüstet werden können.

In Fig. 3 ist eine zweite Ausführungsform dargestellt, bei

welcher die Sensorspule 7 im Durchführungsflansch 3 angeordnet ist und somit wiederum auf Erdpotential gelegt ist. Vorteilhaft ist hier, dass sich ein eigenes, spezielles witterungsfestes Sensorgehäuse erübrigkt, da der Durchführungsflansch 3 selber ein Gehäuse für die Sensorspule 70 bildet.

In einer dritten Ausführungsform gemäß Fig. 4 ist die Sensorspule 70 oberhalb des Isoliergehäuses 1 angeordnet und liegt somit auf Hochspannungspotential. Die Zuleitungsfaser 72 verläuft dabei mindestens teilweise im Mantel 10 des Isoliergehäuses 1. Zwischen Zuleitungsfaser 72 und Faserspule 70 ist ein zweites optisches Verbindungsglied 73' angeordnet, um die Montage zu erleichtern.

In einer vierten Ausführungsform, dargestellt in Fig. 5, ist die Sensorspule 70 im Durchführungskopf 2 angeordnet. Auch hier erübrigkt sich ein separates Sensorgehäuse.

Fig. 6 zeigt eine fünfte Ausführungsform, in welcher die Sensorspule 70 im Mantel 10 des Isoliergehäuses 1, vorzugsweise in dessen mittleren Bereich, angeordnet ist. In einer sechsten Ausführungsform gemäß Fig. 7 ist sie ebenfalls vorzugsweise im mittleren Bereich des Isolierkörpers 1, jedoch in der Isolierfüllung 4 angeordnet. Bei beiden Beispielen erübrigkt sich wiederum ein separates Sensorgehäuse. Die Zuleitungsfaser 72 ist entweder im Mantel 10 oder in der Isolierfüllung 4 verlegt und verlässt das Isoliergehäuse 1 vorzugsweise an dessen dem Durchführungsflansch 3 nahe Ende.

Erfnungsgemäß lässt sich die Durchführung anstatt oder zusätzlich zum Stromsensor 7 mit einem Spannungssensor versehen. Vorzugsweise ist ein piezo-optischer Spannungssensor eingesetzt, wie er aus EP-A-0'907'084 bekannt und in Fig. 8a dargestellt ist. In einer anderen bevorzugten Ausführungsform wird ein elektrooptischer Spannungssensor eingesetzt, wie er aus EP-A-0'682'261 bekannt und in Fig. 8b dargestellt ist.

Der piezo-optische Spannungssensor 8 gemäß Fig. 8a weist einen zylindrischen piezoelektrischen Kristall 80, beispielsweise aus Quarz, auf, welcher an zwei gegenüberliegenden Stirnflächen mit Elektroden 81, 82 versehen ist, wobei eine erste Elektrode 81 auf Erdpotential, eine zweite Elektrode 82 auf Hochspannungspotential liegt. Der Kristall 80 ist mit einer optischen Sensorfaser 83 umwickelt, welche im Bereich der ersten Elektrode 81 über ein Verbindungsglied 84, im allgemeinen ein optischer Stecker, mit einem optischen Verlängerungskabel 85 verbunden ist. Das Verlängerungskabel 85 weist im allgemeinen zwei optische Fasern auf, eine Zu- und eine Rückleitungsfaser. Das Verlängerungskabel 85 endet in einer optoelektronischen Messapparatur 86, welche im Stand der Technik beschrieben ist. Das Sensorprinzip dieses piezo-optischen Spannungssensors 8 beruht darauf, dass der piezoelektrische Kristall 80 eine spannungsproportionale Dehnung erfährt, welche in der Sensorfaser 83 eine Faserdehnung initiiert. Diese Faserdehnung lässt sich mittels der optoelektronischen Messapparatur 86 interferometrisch messen.

Der elektrooptische Spannungssensor 8' gemäß Fig. 8b weist im wesentlichen dieselben Bestandteile auf wie der piezo-optische Spannungssensor 8. Er besitzt jedoch anstelle des piezoelektrischen einen elektrooptischen Kristall 80', vorzugsweise aus Germanium Bismuth Oxid (BGO). Der Kristall 80' ist nicht faserumwickelt. Es ist jedoch eine nicht dargestellte, im Stand der Technik beschriebene Einkoppeloptik vorhanden, um im Kristall 80' Licht zu propagieren, welches über ein optisches Zuleitungskabel 83' ein- und auskoppelt. Das optische Zuleitungskabel 83' weist dabei eine optische Zu- und eine optische Rückleitungsfaser auf. Ferner ist wiederum eine bekannte optoelektronische Messapparatur 86. Das Sensorprinzip des elektrooptischen Spannungssensors 8' beruht darauf, dass eine an den Kristall

80' angelegte Spannung eine Änderung des Polarisationszustandes des im Kristall 80' propagierenden Lichts erzeugt.

In Fig. 9 ist eine siebte Ausführungsform der erfindungsgemässen Durchführung dargestellt, welche sowohl einen Stromsensor 7 wie auch einen Spannungssensor 8 aufweist. Als Spannungssensor 8 ist der piezo-optische Spannungssensor gemäss Fig. 8a dargestellt, es lässt sich jedoch auf dieselbe Art und Weise auch der elektrooptische Spannungssensor 8' einsetzen. Strom- wie auch Spannungssensor 7, 8 sind in diesem Beispiel im Durchführungsflansch 3 angeordnet. Der Kristall 80 des Spannungssensors 8 ist dabei in einer Öffnung 50 des Kondensatorwickels 5 und in einem mindestens annähernd rechten Winkel zum Stromleiter K angeordnet. Die zweite Elektrode 82 ist in Kontakt mit dem Stromleiter K beziehungsweise dem Zentralrohr, die erste 15 Elektrode 81 mit der Aussenwandung des Durchführungsflansches 3. Vorzugsweise ist der Kristall 80 in einem Isolationsmaterial 30 eingebettet, welches einen durch den Durchführungsflansch 3 gebildeten Hohlraum ausfüllt. Als Isolationsmaterialien eignen sich dieselben Materialien wie 20 für die Isolierung 4. Dank dem Isolationsmaterial 30 ist der Kristall 80 mit einem ausreichenden dielektrischen Mantel versehen. Um den Abstand und somit Kriechströme entlang des Kristalls 80 zu verhindern, lässt sich dieser auch in einem nicht rechten Winkel zum Stromleiter K anordnen. 25 In einer anderen, hier nicht dargestellten Ausführungsform weist der Durchführungsflansch einen grösseren Durchmesser als der Rest der Durchführung auf, um so einen grösseren Abstand zwischen Hochspannungs- und Erdpotential zu schaffen.

Die erfindungsgemässen Durchführung mit den faseroptischen Strom- und/oder Spannungssensoren ermöglicht eine von der Art und Form des Transformatoren weitgehend unab- 30 hängige Konstruktion.

#### Bezugszeichenliste

1 Isoliergehäuse	35
10 Mantel	
11 Rippen	
2 Durchführungskopf	
3 Durchführungsflansch	
30 Isolationsmaterial	
31 Wandung	
4 Isolierung	
5 Kondensatorwickel	
50 Öffnung	
6 Durchführungsdom	
60 Transformerwand	
7 Magneto-optischer Stromsensor	
70 Sensorspule	
72 Zuleitungsfaser	
73 optisches Verbindungsglied	
73' zweites optisches Verbindungsglied	
74 Verlängerungsfaser	
75 Auswerteoptik und -elektronik	
8 piezo-optischer Spannungssensor	
8' elektrooptischer Spannungssensor	
80 piezo-optischer Kristall	
80' elektrooptischer Kristall	
81 erste Elektrode	
82 zweite Elektrode	
83 optische Sensorfaser	
83' Zuleitungsfaser	
84 Verbindungsglied	
85 Verlängerungsfaser	
86 optoelektronische Messapparatur	
K Stromleiter	

#### Patentansprüche

1. Durchführung zur isolierten Einführung eines Stromleiters (K) in eine Hochspannungseinrichtung, wobei die Durchführung ein zylinderförmiges Isoliergehäuse (1) zur Aufnahme des Stromleiters (K) und einen Durchführungsflansch (3) zur Befestigung der Durchführung an der Hochspannungseinrichtung aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die Durchführung einen Strom- und/oder Spannungssensor (7, 8) aufweist.
2. Durchführung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Strom- und/oder Spannungssensor (7, 8) an einem Teil der Durchführung angeordnet ist, welcher sich im montierten Zustand ausserhalb der Hochspannungseinrichtung befindet.
3. Durchführung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Stromsensor ein magneto-optischer Stromsensor (7) mit einer faseroptischen Sensorspule (70) ist.
4. Durchführung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensorspule (70) das Isoliergehäuse (1) umgibt.
5. Durchführung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensorspule (70) in einem Mantel (10) des Isoliergehäuses (1) angeordnet ist.
6. Durchführung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensorspule (70) im oder am Durchführungsflansch (3) angeordnet ist.
7. Durchführung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensorspule (70) innerhalb des Isoliergehäuses (1) in einer Isolierung (4) angeordnet ist.
8. Durchführung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass sie einen Durchführungskopf (2) aufweist, welcher an einem vom Durchführungsflansch (3) entfernten Ende des Isoliergehäuses (1) angeordnet ist, und dass die Sensorspule (70) in diesem Durchführungskopf (2) angeordnet ist.
9. Durchführung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der magneto-optische Stromsensor (7) mindestens eine optische Zuleitungsfaser (72) aufweist, welche mindestens teilweise in einem Mantel (10) des Isoliergehäuses (1) geführt ist.
10. Durchführung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Spannungssensor ein elektrooptischer Spannungssensor (8') ist mit einem elektrooptischen Kristall (80'), welcher auf zwei gegenüberliegenden Seiten mit je einer Elektrode (81, 82) versehen ist.
11. Durchführung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Spannungssensor ein piezo-optischer Spannungssensor (8) mit einem piezo-elektrischen Kristall (80) ist, wobei der Kristall (80) von einer optischen Sensorfaser (83) umwickelt und auf zwei gegenüberliegenden Seiten mit je einer Elektrode (81, 82) versehen ist.
12. Durchführung nach einem der Ansprüche 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Kristall (80, 80') im Durchführungsflansch (3) so angeordnet ist, dass eine erste Elektrode (81) mit dem Stromleiter (K) kontaktierbar ist und eine zweite Elektrode (82) eine äusserre geerdete Wandung (31) der Durchführung (3) kontaktiert.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

**- Leerseite -**

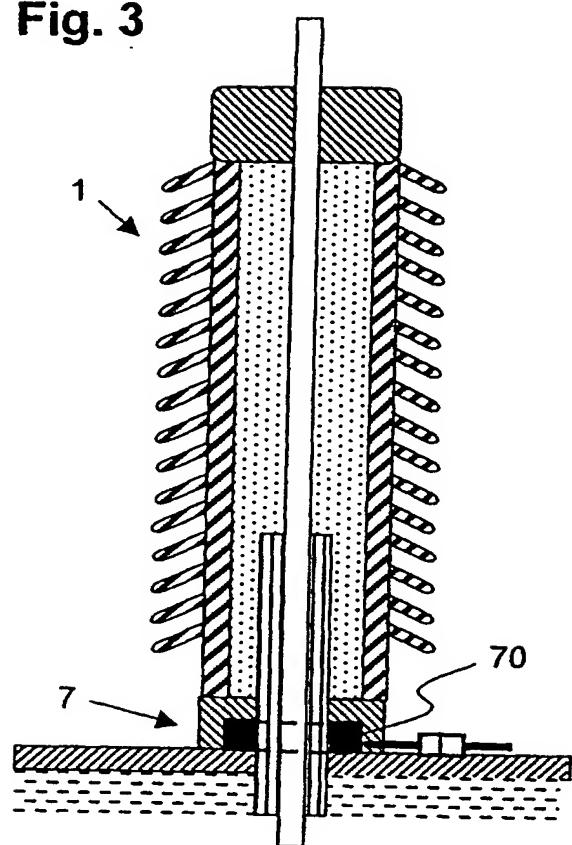
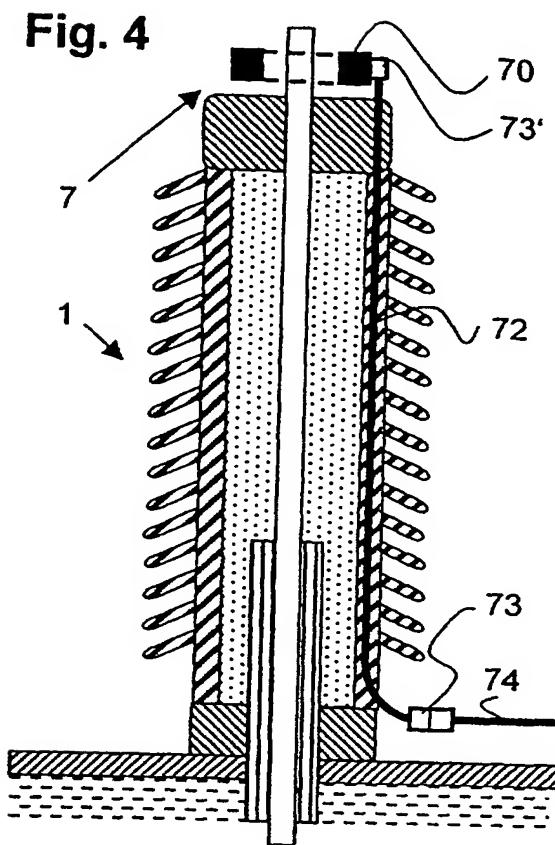
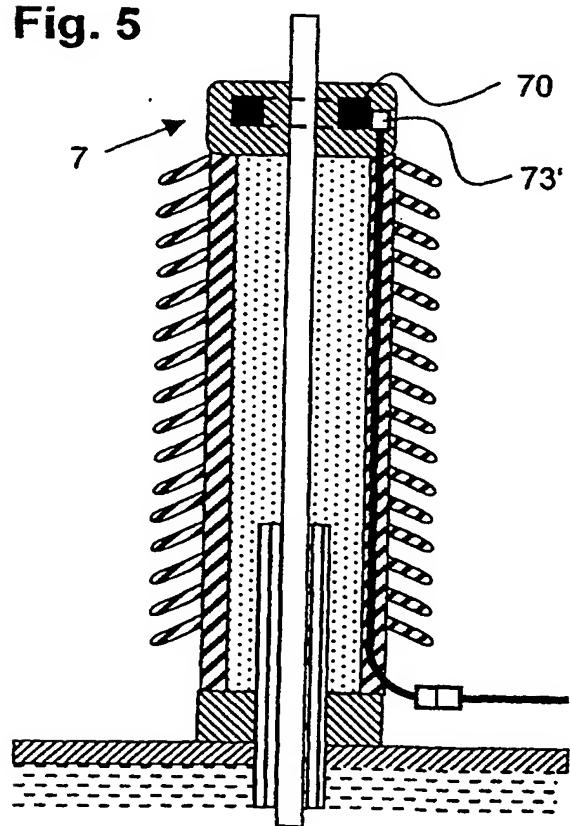
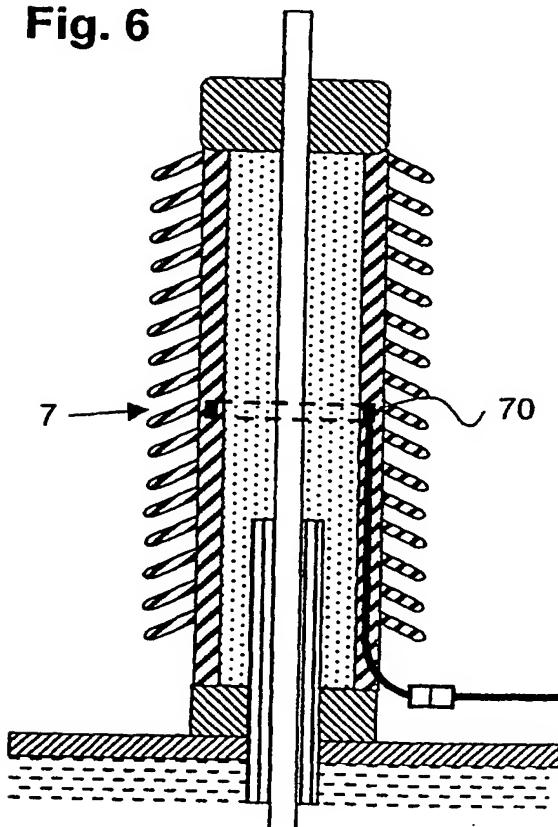
**Fig. 3****Fig. 4****Fig. 5****Fig. 6**

Fig. 7

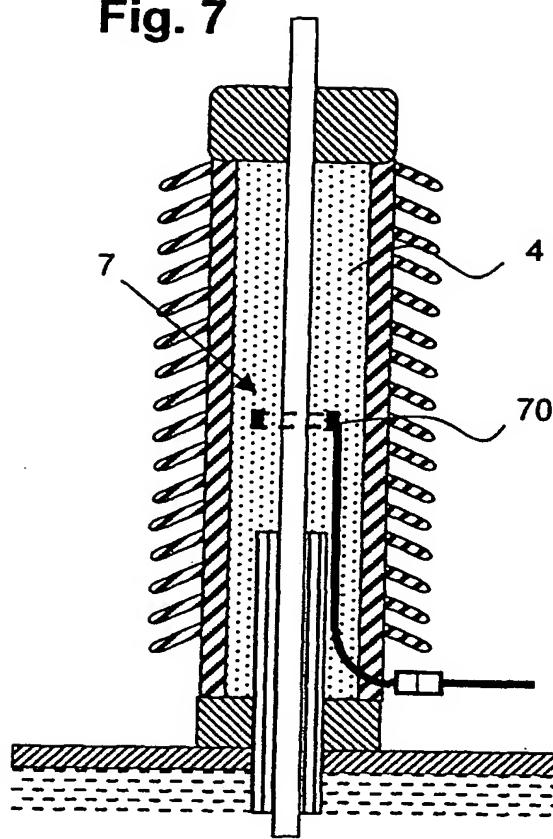


Fig. 8a

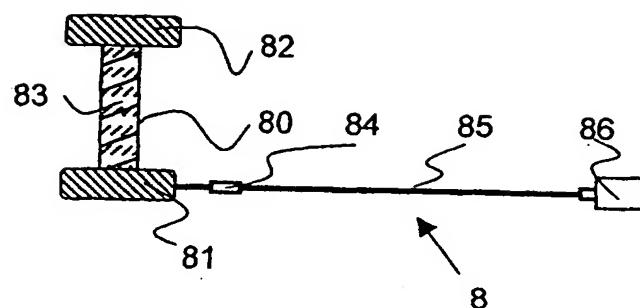


Fig. 8b

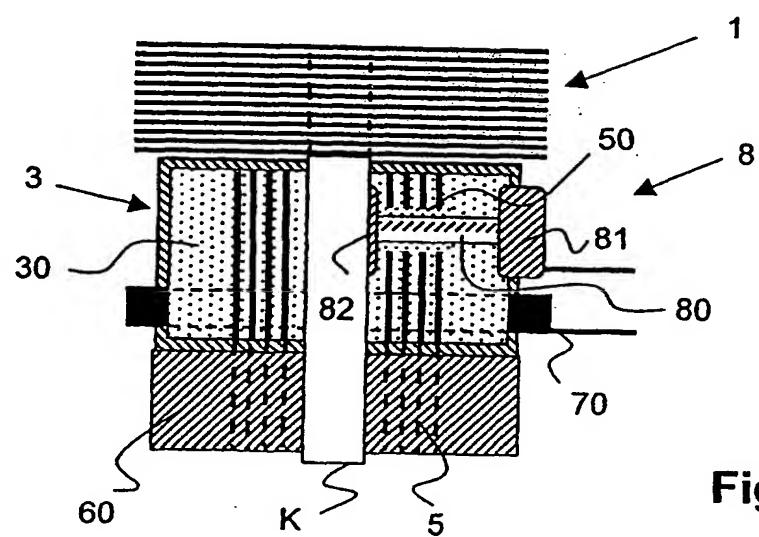
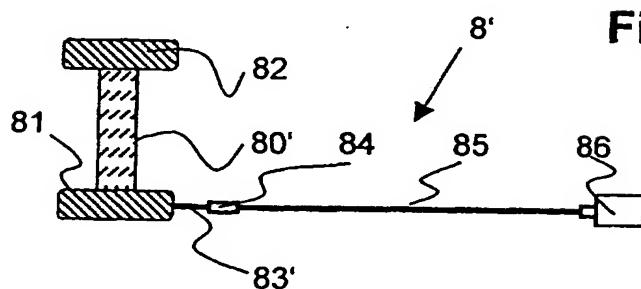


Fig. 9

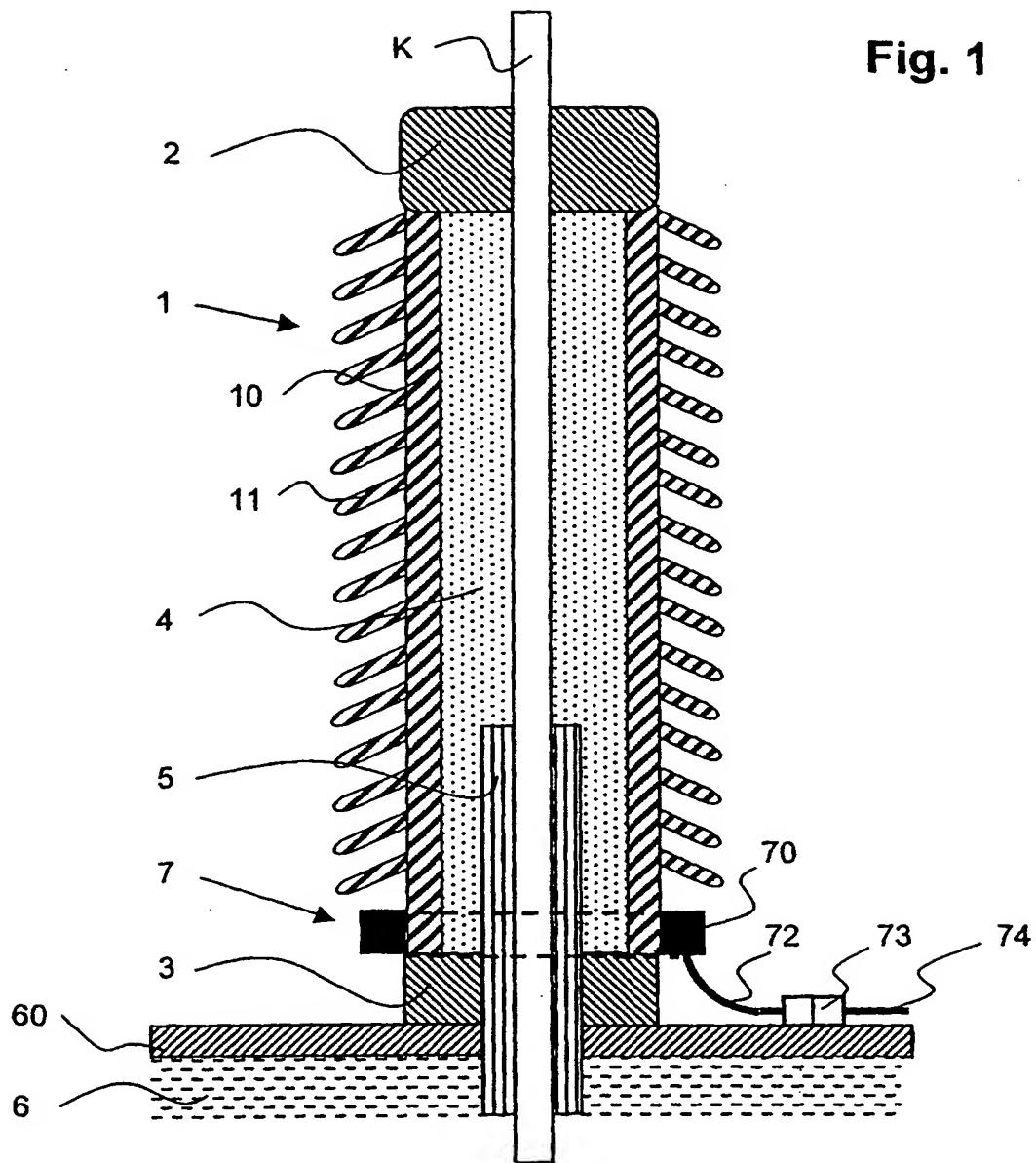


Fig. 2

